

ヤマハのFMSの 現状と将来



生産技術部生産技術第2課 鈴木雅晴

1. はじめに

産業界の重要なテーマの1つに、生産性の向上がある。量産技術確立後の多量生産の時代において、それは生産設備の自動化を中心とした合理化・近代化により推進されてきた。しかし、経済水準が高度化するに伴い、単なる合理化・近代化だけでは対応できなくなってきた。なぜなら、経済水準の高度化によって、消費者の価値感やニーズの多様化が促進され、それらに伴って製品のライフサイクルは短くなり、技術革新の進展とあいまって、多種少量化が進行してきたからである。

当社の主力製品であるモーターサイクルの市場においても同様である。当社では、数年前よりこの多種少量への流れに対応すべく、ケースクランクやヘッドシリンダの機械加工を中心にFMSの導入に取組んできた。ここに、そのヤマハのFMSの概要を紹介する。

2. FMSとは

FMSとは、Flexible Manufacturing Systemの頭文字をとった呼び名であるが、明確な定義はない。一般に、生産性が高くかつ柔軟性を兼ね備えて、自動化をめざした生産方式であればFMSと呼ばれていることが多い。

その生産性と柔軟性に対するFMSの位置づけ

を図1に示す。単一部品の多量生産は、専用トランスファーマシンまたは専用工作機械に適した領域であり、ロットサイズの小さい一品料理的な生産は、汎用工作機械で加工するのが有利な領域である。FMSは、これら両者の中間に位置し、図中斜線を引いた領域に適した生産形態である。その対象範囲は非常に広い。

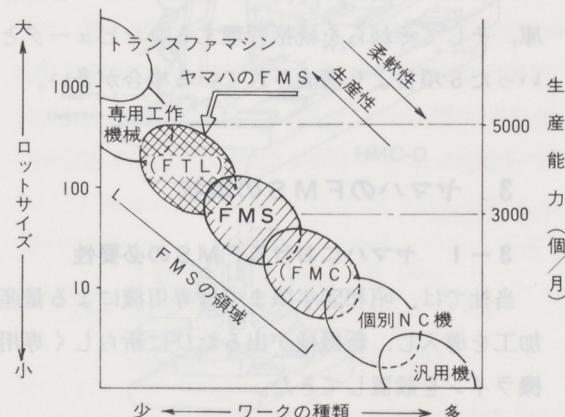


図1 FMSと生産性・柔軟性

その際の柔軟性は、GT方式に基づく類似ワーク、いわゆるファミリーと称される部品群において多種対応ができるということである。どんなワークにでも、どんな工程にでも自在に対応できるFMSは今後の拡大課程のなかにあり、現在では存在しない。

必要とする生産性と柔軟性のレベルは、扱う製

品の特性により各企業で異なる。したがって、FMSの形態はそれぞれ各企業で異なっている。FMSの概念を把握する参考として、モータを生産するF社の例を図2に掲げた。これは、工場全体をFMS化した代表的な例である。この例にもみ

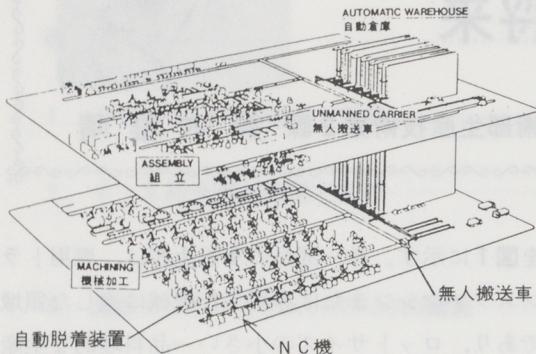


図2 工場全体をFMS化した例

られるように、機械加工のFMSは一般にNC機械群とそれらへの自動ワーク脱着装置、機械間の自動ワーク搬送装置、ワークをためておく自動倉庫、そしてそれらを統括管理するコンピュータといった5項目より構成されている場合が多い。

3. ヤマハのFMSの現状

3-1 ヤマハにおけるFMSの必要性

当社では、昭和50年頃までは専用機による量産加工を導入し、新機種が出るたびに新らしく専用機ラインを設置してきた。

しかし、新機種数の増加に伴い、専用機ラインでの対応では、多くの工場スペースや多額の投資額を必要とする為、それに変わる新たな生産方式が望まれた。そこで、昭和51年に生産能力を低下させず機種数の増加に対応する手段として、治具・軸頭交換式の多軸専用機を開発し、ケースやヘッドの機械加工を中心に導入してきた。その方式により、新機種立ち上げに際してスペース拡張の必要がなく、投資額もそれまでの $\frac{1}{2}$ 以下に削減できた。その治具・軸頭交換式多軸専用機の構造を

交換軸頭
図3に示した。つまり、治具・軸頭と本機との接

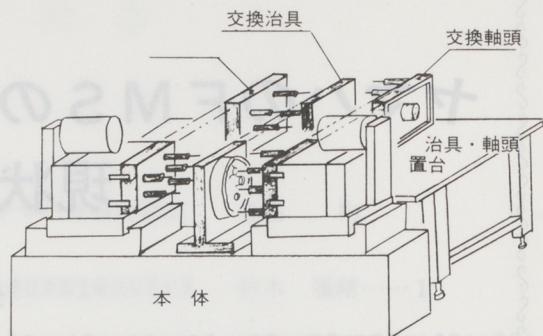


図3 治具・軸頭交換式多軸専用機

続部を標準化しておき、新機種導入時には、その治具・軸頭のみを製作し、それらを段取り交換して対応しようという考え方であった。この方式は、生産準備期間を非常に長く必要とする欠点はあったが、多くの数が見込めた時代の柔軟性のもたらせかたとしては、適した方法であった。

しかし、最近の機種は図4に示すように、高々月3,000台の生産量であり、かつ立ち上がり後、半年もするとその生産量は $\frac{1}{3}$ 以下に減少するものが大半を占めるようになった。したがって、前述の治具・軸頭だけの投資回収さえ難かしくなった。また、競争の激化に伴い、新機種開発のテンポが早くなり期間も短縮する必要にせまられてきたが、長い生産準備期間を必要とする治具・軸頭交換方式では、その要求にこたえられなくなってきた。ここに、治具・軸頭交換方式に変わる生産方式と

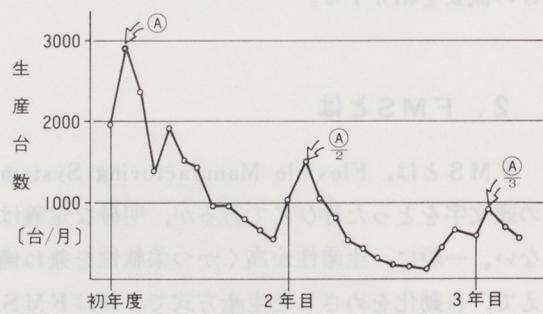


図4 昭和60年立上がり機種の生産量の変遷例

して、生産性と柔軟性を兼ね備えたFMS導入の必要性が生じてきた。

3-2 ヤマハのFMSの特徴

我々が最終的にめざすところは、工場全体のFMS化であるが、投資額や現在の生産のやりくりを考えると、一举にそれを実現することにはとうてい無理があった。したがって、我々は新機種の導入にあわせて徐々に、ライン単位でFMSに取組んでいくことを考えた。その際の狙いは前項の2つの問題を解決することと同時に、高い生産性を確保するため『量産型であること』と、『生産量の変動に対応できること』を追求した。この4点を求めたところにヤマハのFMSの特徴がある。

3-2-1 量産型FMSであること

生産性と柔軟性に対するヤマハのFMSの位置づけは、図1のクロスハッチを施したところに相当し、比較的生産性の高いところに位置する。なぜなら、最近の生産は少量化してきてはいるが、図4に示したように生産立ち上がり当初は3,000台／月程度ある。したがって、ラインはそれ以上の能力をもつ必要があり、FMSとしては高い生産性をもつ量産型をめざす必要があったからである。

そこで、サイクルタイムは3~6分程度とし、搬送は極力自動化して労働生産性を高め、かつ切粉処理性、設備保全性を考慮したライン造りに努めた。図5に左右割ケースの場合のライン構成を示した。

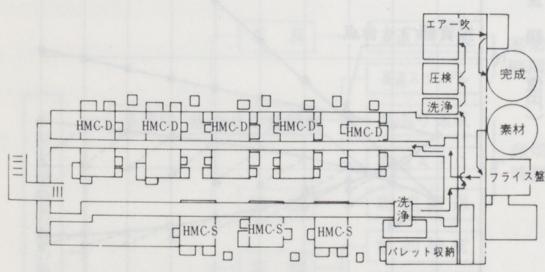


図5 左右割ケースのレイアウト図

このラインの工程の流れを述べると、フライス盤で合面の加工が施されたワークは、次工程で専用のパレット（ワークを取付けて搬送、位置決め

に使われるプレート）にセットされる。そして、8台のマシニングセンターからなるNCトラマンで切削が施され、その後洗浄、圧検を経て出荷になる。トラマン用パレットには、機種識別機構が取付けられており、各マシニングセンターはそれを読み取り、必要なプログラムを自動的に呼び出して加工ができるよう柔軟性を持たせてある。

このラインの中心となるマシニングセンターの略図を図6に示した。切粉処理性および保全性向上への対応として、治具固定でコラム移動式を採用し、メンテ部を切粉や切削水の多くかかる所から外した。また、ベッドにおいては平面部をなくし、溝には十分な傾斜（3度）をつけると共に、切削水や切粉が停流することがないよう切削水の合流する所には、お互いの溝に段差を設ける工夫もした。

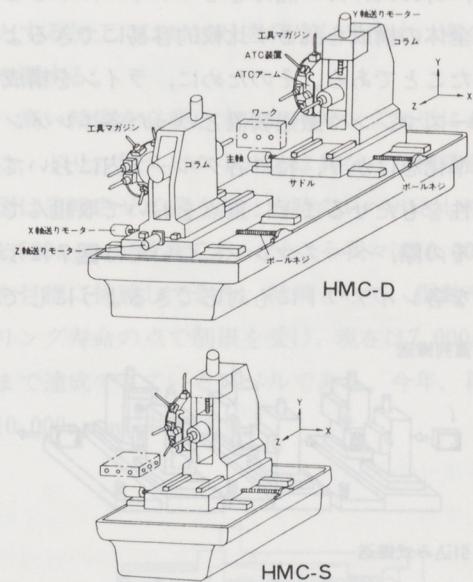


図6 マシニングセンター概略図

3-2-2 生産量の変動に対応できること

昨今の世の中の情勢の変化にはめまぐるしいものがある。したがって、新機種の立ち上がり時のみならずその他の面でも生産量は多くの変動をうける。この変動に対応できるように、ライン間で機種の相互乗り入れができること、およびライン能力そのものの増減が比較的容易にできることの

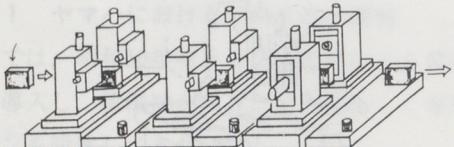
2点を配慮した。

(1) ライン間でワークの相互乗り入れ可能なこと
採算性を考え効果的な設備であるために、上下割ケース、左右割ケース、多気筒ヘッドの形でワークを分類し、それぞれのグループの特徴にみあった形で、ライン形態を別々なものにした。そして、そのグループのなかにあっては、最大のワークを対象にして、マシニングセンターの能力範囲、治具の構造およびパレットの大きさを設定した。したがって、そのグループのライン同志においては機種間の生産の変動に対応できる構造になっている。

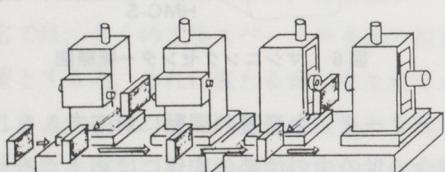
(2) ライン能力の増減に対応できること

例えば、能力3,000台/月のラインを造っておき生産計画が増えたら別のラインから機械をもってきて、4,000台/月の能力をもつラインにすることが、全体の構成を乱さず比較的容易にできるようにしたことである。そのために、ラインを構成するベースマシンや搬送装置といった各エレメントの標準化をはかり、特に各グループ内においては互換性をもたせることに重点をおいて取組んできた。その際、ベースマシンについては図7に示すような各レイアウトにも対応できるようにして、

(a) 直列搬送



(b) 引込み式搬送



(c) 単体機として使用

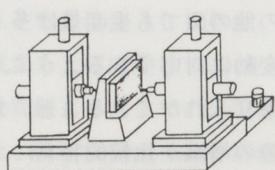


図7 レイアウトの種類

転用の容易化をはかっている。

3-2-3 製造コスト引き下げへの対応

量産型FMSの場合、そのライン構成のなかに軸頭自動交換式の多軸機を一部組み込む場合もあるが、ヤマハのFMSは投資最小を狙い、あくまでもマシニングセンター中心で構成している。したがって、1機種に対応するための設備投資としては、基本的に初工程のフライス治具とNCトラン用のパレットおよび刃具、それに圧検や洗浄の治具類だけであり、従来よりも投資額はずっと減っている。

例えば、上下割ケースにおいて毎年1機種立ち上がったと仮定した時に、従来の治具・軸頭交換の多軸式とFMSの場合との投資比較を図8に示した。各機種により実際には投資額は異なるが、多軸の場合1.8億、FMSの場合0.4億と現実的なところで設定した時に、累積投資額は3.2年で、償却費は2.5年で相方互格となり、それ以上稼動を続けた時にはFMSのほうが有利となる。生産台数が減少してきたなかにあって、この投資削減は製造コスト低減に大きく寄与している。また自動搬送を採用し、人員の削減ができていることもコスト低減に結びついている。

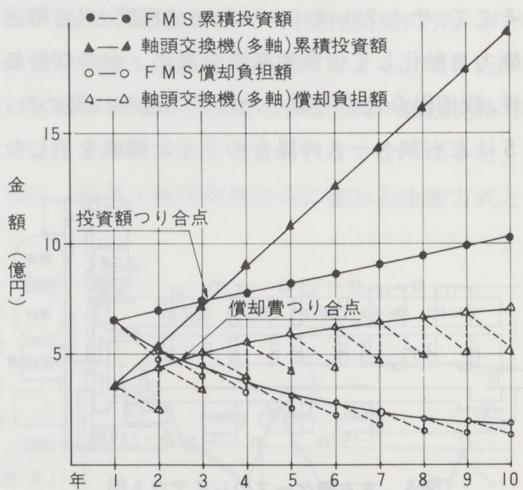


図8 軸頭交換機(多軸)とFMSとの投資比較

3-2-4 生産準備業務の改善

新機種の立ち上げに伴って必要な設備が少なく

て済むことは、前項の投資削減の他に、設備を計画、導入する工数の低減を可能とし、また設備検討期間や製作期間、それに導入の為のライン停止期間等の短縮にもつながっている。したがって、開発着手から立ち上げまでのリードタイム $\frac{1}{2}$ に少なからず貢献できている。表1にそれらの改善の程度を示した。

	多軸の場合	FMSの場合	改善度
生産準備期間	8~10ヶ月	4~5ヶ月	$\frac{1}{2}$
ライン停止期間	約1ヶ月	2週間	$\frac{1}{2}$
生産準備工数	1人×8~9ヶ月	1人×4~5ヶ月	$\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$

表1 FMS導入による生産準備の改善

3-3 技術課題と達成度

我々がFMSに取り組もうとしていたころ、世の中のFMSはまだ工作機械メーカーにみられるように、1台のマシニングセンターでフライス加工から穴あけ、ネジ立てまでの総てを加工しようというものであり、サイクルタイムも30分~2時間と非常に長く、機械自体の動きも遅いものであった。その中にあって、我々の目的とする生産性の高い量産型FMSを確立するには、図9に示した多くの課題があった。つまり、速い切削速度で削り、切粉を出している実切削時間の短縮をはかること。および、刃具を交換するATC(Auto Tool Change)時間、加工する穴位置まで刃具を

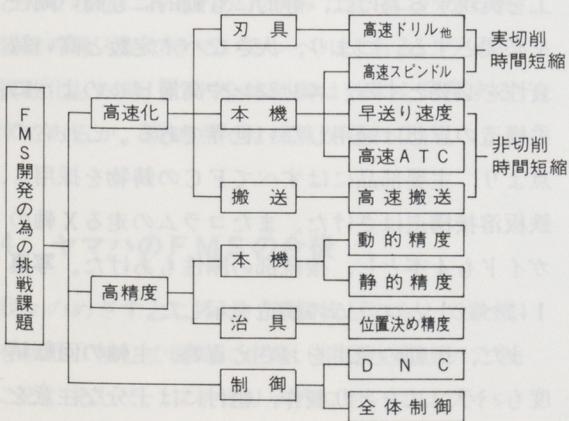


図9 技術課題

運ぶ早送り時間、ワークを所定の加工位置まで運ぶ搬送時間といった非切削時間の短縮をはかること、そして、それら高速化のもとでの精度の確保を行なうことがメインの課題であった。

3-3-1 実切削時間短縮

実切削時間を短縮する為には、切削条件を高めていく必要がある。その際ケースやヘッドの加工においては、ドリルやボーリングの加工が大半を占める為、まずこの2点の高速化に的を絞った。

ドリル加工については、図10に示すように、スピンドルと刃具の中を通じて切削油を供給するようにして、刃先の潤滑及び切粉の排出を強制的に行なった。そして、15,000r.p.mの加工を実現している。従来は、4,000r.p.m程度が限界だったのに比べると、3倍以上の高能率となっている。ただ、下孔の鋸抜いてある穴の加工や、刃具長を長く必要とする加工ではビビリを発生しやすく、多少改善を要する。

高い精度を必要とするボーリング加工においては、ドリル用スピンドルとは異なった構造となる。図は省略させて頂くが、当時のレベルとしては、4,500r.p.mが最高であったところ我々は10,000r.p.mを目標に挑戦してきた。結果として、振動やベアリング寿命の点で制限を受け、現在は7,000r.p.mまで達成できているレベルである。今年、再度10,000r.p.mに挑戦する。

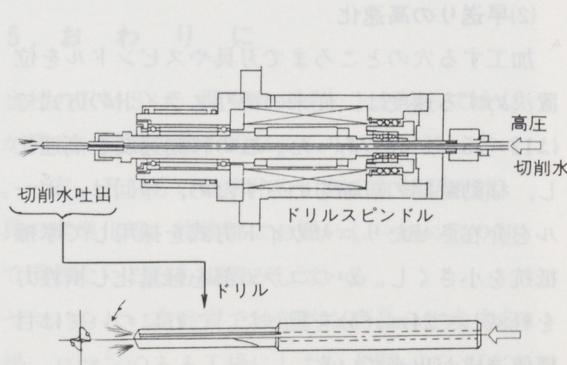
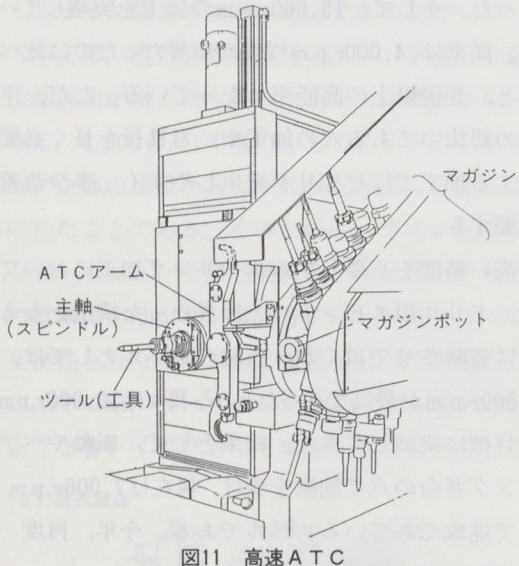


図10 高速用ドリルスピンドルとドリル

3-3-2 非切削時間の短縮

(1) 刃具交換の高速化

図11に今回採用したATC機構の略図を示す。ATC時間の当時の一般値は、刃具交換だけのT to Tで5~6秒であったが、我々は目標として、2.5秒を狙った。そのため、マガジンとコラムとを一体化して、加工完了後スピンドルが後退すれば直ちに刃具交換ができる構造にすると共に、ATCアームの動きをメカ方式とし、サイクロイド曲線をもったカムでアームの加減速特性を最適にして高速化をはかった。結果として、目標値までは届かなかったが3.5秒までの達成は出来ている。



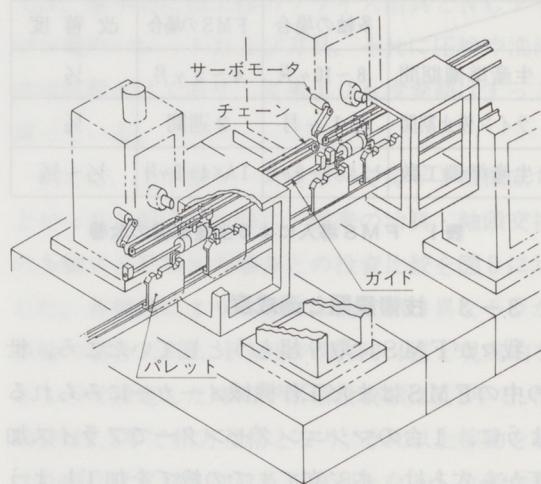
(2) 早送りの高速化

加工する穴のところまで刃具やスピンドルを位置決めする速度は、従来の滑りスライドの方式では12~15m/分であった。この移動速度を高速化し、移動時間の短縮をめざすため、今回は、ボールを介在させたりニヤガイド方式を採用して摩擦抵抗を小さくし、かつコラム部を軽量化し慣性力を軽減して24m/分を狙った。これについては目標値達成が出来ている。

(3) 高速搬送

ある工程で加工完了したワークを次の工程における搬送時間も、従来は10~20m/分であったが、

今回は50m/分を目指とした。その為、図12に示すように、直流サーボモータを使ったチェーン式搬送の構造を採用了。なぜなら、空圧や油圧それに普通のモータでは、速度制御が不安定なことと、理想的な加減速特性を得ることができない為である。結果として、左右割及び上下割ケースの加工ラインでは目標値達成が出来ている。



3-3-3 高精度加工

機械各部の動きを高速化するなかで、高い精度を確保しなくてはならず、今回の開発のなかで最も神経をつかい、評価に時間をかけた項目である。工作機構の加工精度=剛性であり、高い精度の加工を実現する為には、静的にも動的にも高い剛性を必要とする。つまり、大きなバネ定数と高い減衰性を必要とする。エンジンや高層ビルのように、柔構造の思想は通用しない世界である。これらの点より、主要部品にはすべてFCの鋳物を採用し、鉄板溶接構造はさけた。またコラムの走るX軸のガイドも4本とし、接続部の剛性もあげた。写真1にベットとコラムの構造を示した。

また、振動の発生をおさえる為、主軸の回転精度もバランスをとり製作、組付には十分な注意を払っている。そして、温度変化による変形に対応

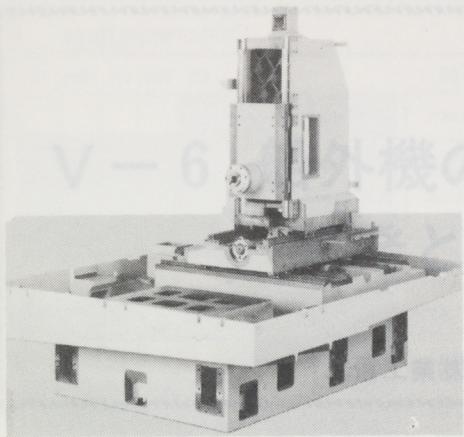


写真1 ベッドとコラム

する為、極力熱対象構造とし、スピンドルには冷却を施した。

結果的には、軸間精度±0.02に対し Cpk で 1.2 程度と従来よりかなり改善してきた。また形状精度もワークの特性を除外すれば、真円度 $5 \mu\text{m}$ に対し工程能力はある。しかし動剛性の点で改善すべき所が残っており、今後構造解析を導入し対策の手を効果的にうつっていく。

3-3-4 全体制御

ラインの情報収集をして管理の工数低減をはかり、将来の無人化を達成する為には、コンピュータを活用し、生産計画やそれに伴う情報の管理、故障の監視等をコントロールしていく必要がある。この全体制御は現在のところ実現していない。現状では人が管理するシステムであり、ライン停止時どんな状態にあるのか人がみて直ちにわかる表示装置の導入ができているレベルである。ラインが複数化した時、この全体制御は効果を發揮するはずであるが、現時点では採算が合わない。

4. ヤマハのFMSの今後

我々のめざすところは、1個流しのもとで数機種を段取り無しで同時に生産（混合生産）ができる事。そして、ファミリー内においてはライン間で機種のやりとりが可能な、そういうFMS

ラインで工場を構成し、総量さえ越えなければ、必要なものを、必要なとき、必要なだけ、安いコストで造れるFA工場を実現することにある。このレベルを実現するには、まだまだ多くの問題や課題があり、それらを解決していかなくてはならない。

この一年は、さらに柔軟性を増すことをめざすと共に、ライン全体としての混合生産の確立と、500時間/月の稼動を実現していきたい。具体的には、三次元穴加工機やインライン圧入機を開発すること、圧検機のサイクルタイム内自動段取り、昼夜休みと休憩時間の自動運転、それにロボット導入等による直接作業者の1人/直化の実現を中心取組んでいく。

生産管理やライン監視等コンピュータによる全体制御や、自動補正のできるインライン計測の導入は、FMSラインの増加とさらなる合理化のために将来必ず必要になる。これらについては当面技術面での基礎的な追求をしていく。

また、生産準備においては、CADとコンピュータの活用により、工程設計の合理化と標準化を推進していく。そして、新機種立ち上げの際のライン停止期間短縮や、開発のリードタイム½にさらに貢献できるよう、FMS導入を機に質の高い生産準備業務実現に取り組んでいく。

5. おわりに

当社のFMSは、開発のスタートを切ってまだ日が浅く、設備の基本的なつくり込みが残っている。一方、FMSの効率化を引き出す製品設計、刃具の標準化等、技術部にお願いし一緒に取り組んで頂きたいことも山積みしている。

ヤマハらしい高品質で独創的な商品を生産する工場、ロマンのある工場にしたいと願っている。このシステムを成功させるため、各部門の協力をお願いする次第である。